

Розробка методичного підходу до вибору технологій екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах

Н. О. Телюра

Розроблено методичний підхід вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. Використання такого підходу дозволяє задіяти спеціалістів місцевих органів влади різного профілю до управління екологічною безпекою населених пунктів з позицій їх сталого розвитку.

Сутність методичного підходу полягає у використанні методу аналізу ієрархій (МАІ). Для нього запропоновано і використано критерії, що сформульовані як складові сталого розвитку – екологічні, соціальні та економіко-технологічні. Відповідні спеціалісти, як експерти, спираючись на інформацію різного типу (статистичну, прогнозну, даних безпосередніх вимірів) по конкретному населеному пункту, дають власні судження відносно пріоритетності переваг критеріальних ознак. Результати оброблення суджень експертів за формальною процедурою МАІ є основою для прийняття рішень при виборі технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення в конкретному населеному пункті.

Багатокритеріальна ієрархічна структура вибору технологічних заходів представлена послідовністю дій, що включають три етапи: побудову ієрархічної моделі порівняння критеріальних ознак; формування матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня ієрархії та визначення їх локальних вагових коефіцієнтів; визначення глобальних вагових коефіцієнтів, індексу узгодженості та вибір найкращого варіанту. Перевагою запропонованого багатокритеріального методичного підходу є можливість ув'язати в єдиний алгоритм виробки рішення вихідні дані, що різняться як за своїм змістом (екологічні, соціальні та економіко-технологічні), так і за формою представлення (статистичні, прогнозні, дані безпосередніх вимірів, експертні оцінки).

Апробація розробленого методичного підходу проводилась на прикладі типового населеного пункту, розташованого на евтрофованому водному об'єкті – джерелі питного водопостачання та рекреаційного використання. Отримані результати, незважаючи на достатньо велику розмірність масиву елементів ієрархії, показали досягнення прийнятного рівня узгодженості, що свідчить про їх достовірність.

Розроблений методичний підхід може бути використаний при обґрунтуванні удосконалення чи побудові нової системи водовідведення населеного пункту розташованого на евтрофованому водному об'єкті

Ключові слова: екологічна безпека, населений пункт, технологічний захід екологічно безпечного водовідведення, метод аналізу ієрархій

1. Вступ

Забезпечення соціального та економічного розвитку держави та окремого населеного пункту (НП), під час якого зростає якість життя населення при одночасному зменшенні впливу на природу. Це спонукає до створення довкілля, яке сприятливе для здоров'я людини та є стратегічною метою політики екологічної безпеки.

Забезпечення сприятливого середовища для життєдіяльності людини повинно базуватись на критеріальних ознаках сталого розвитку. Сприятливе середовище можна визначити як безпечне середовище, в тому числі водних об'єктів, джерел задоволення питних та рекреаційних потреб населення. В умовах погіршення стану довкілля, масштаби якого призвели до втрати стійкості екосистем, особливо актуальною стає розробка та обґрунтування шляхів зниження впливу водного фактору на людину. Особливо це актуально для евтрофованих водних об'єктів [1].

Евтрофовані водні об'єкти (ЕВО) схильні до «шкідливого цвітіння», які використовуються населенням для задоволення власних потреб, впливають не тільки на стан здоров'я, але і виступають чинником зниження якості життя та умов існування. В європейській практиці та США істотна роль у попередженні небезпеки з боку водного чинника в населених пунктах належить впровадженню «найкращих доступних технологій» [2], тобто технологічних заходів екологічно безпечного водокористування (ТЗ ЕБВ). При яких зберігається стан захищеності джерел та систем водоспоживання від небезпеки, яка викликана порушенням еколого-соціальних нормативів у сфері питного водопостачання або рекреаційного водокористування [1].

Системні трансформації суспільства та інтеграційні процеси у європейський та світовий простір потребують відповідного наукового забезпечення процесу створення нових організаційних структур у різних сферах суспільного життя [3].

Наразі стає актуальним створення методичних (програмно-аналітичних) підходів для підтримки прийняття управлінських рішень найвищою керівною ланкою НП. Ці підходи, по-перше, на базі безлічі факторів та критеріїв допоможуть вирішити проблему оцінювання кінцевого результату прийнятого рішення. По-друге, при виборі та впровадженні пріоритетних технологій водовідведення, вони допоможуть провести аналіз альтернативи або визначити ефективність проходження окремих етапів процесу прийняття рішення.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Аналізуючи складові частини інформаційних технологій при виборі технологій системи водовідведення та підвищення рівня захищеності ЕВО в НП, слід зазначити, що ці питання висвітлені в праці [4]. В ній розглянуто технологічні важелі зменшення рівнів евтрофування ВО, існуючі європейські практики покращення стану систем водовідведення та шляхи підвищення еколого-соціальної складової суспільства. Але невирішеним залишається питання об'єднання розрізнених критеріїв та факторів збільшення навантаження на ЕВО в межах НП. Також потребує розширення застосування

економіко-технологічного підходу який використовують при будівництві нових або реконструкції існуючих систем водовідведення. На даний час застосування даного підходу є обмеженим внаслідок відсутності математичного підходу до вирішення цієї проблеми.

Збільшення навантаження та надходження біогенних речовин і проведений аналіз зміни в природокористуванні виявив, що існує ризик деградації водних екосистем. Евтрофування водних об'єктів внаслідок потрапляння біогенних речовин є серйозною проблемою якості води у всьому світі [5]. Виявлені недоліки в організації водокористування потребують формування нових підходів та впровадження інформаційних технологій та матапарату до їх вирішення.

Хронічне надходження біогенних речовин, що призводять до антропогенного евтрофування водних об'єктів, набуває великих масштабів. Європейські країни, такі як, Данія, Фінляндія, Люксембург та Нідерланди віднесли всі водні об'єкти на території своїх країн до категорії «уразливих зон» через небезпеку їх антропогенного евтрофування [6]. Виділені у [6] найбільш «уразливі зони» у всьому світі визначають масштаб проблеми, однак прийняті нормативно-правові документи які спрямовано на поліпшення та зменшення негативного впливу ЕВО, не регламентують конкретні технології та інструменти для поліпшення існуючого стану.

Одним із важелів регульованого та обґрунтованого прийняття рішень щодо технічного переоснащення та зменшення рівня евтрофування водних об'єктів є методи математичного аналізу. Робота [7], присвячена обґрунтуванню методу прийняття рішень для оцінки впливу і управління екологічною безпекою на прикладі гідротехнічних споруд. Проте, незважаючи на переваги адаптованого методу аналізу ієрархій (MAI) Т. Сааті, для системи управління екологічною безпекою окремих об'єктів, залишається відкритим питання його застосування в площині населеного пункту. Визначені критерії, фактори та джерела впливу в трансграничному контексті, але не визначено механізми взаємодії рівнів впливу.

У роботі [8] поняття екологічної стійкості автори розглядають як синонім стабільності. Зі збільшенням впливу антропогенезу на довкілля зростає актуальність розробки природоохоронних заходів та оцінки їх еколого-економічної ефективності. І, як наслідок, розробки методу визначення відносних вагових коефіцієнтів її основних факторів та критеріїв, та їх пріоритету для збалансованого фінансування. Внаслідок цього авторами [8] визначено, що виникає велика кількість як суперечливих критеріїв, так і методів прийняття багатоцентрих рішень для оцінки пріоритетів суперечливих матеріальних/нематеріальних критеріїв. Однак невирішеним залишається питання обґрунтованості вибору експертом певного методу прийняття рішення, в конкретних умовах НП. У роботі [9] автори проводять порівняльний аналіз та оцінку різних методів вибору для визначення, чим один метод є кращим, ніж інший, та вводять 16 критеріїв, які можуть бути використані для судження та оцінки різних методів. Виявлені особливі важелі та ваги кожного з 16 критеріїв, але особливо визначена роль експерта, його

досвіту та практичних знань при інтерпретації та аналізі результатів. Треба відмітити, що автори не визначають, як враховувати та інтерпретувати різні погляди експертів та за яким підходом їх узгоджувати.

У роботі [10] представлений інструмент системи підтримки прийняття рішень для оцінки стратегій втручання (альтернативи) в міській системі водопостачання з використанням інтегральної імітаційної моделі. Модель дозволяє користувачеві ідентифікувати одну або кілька оптимальних альтернатив. Використовується підхід з множинним критерієм, кількісним і якісним, для прийняття рішень і порівняння певних альтернатив, ранжирування їх по відношенню до заздалегідь заданої схеми зважування для різних сценаріїв. Не вирішеним залишається питання адаптивності даного підходу до реальних умов на прикладі конкретного НП з врахуванням соціально-економічних факторів.

Авторами у [11] визначено процес управління водними ресурсами в межах населених пунктів як соціально-технічну проблему. Об'єднання технологій та інженерно-технологічних засобів, а також соціально-економічних аспектів як для населення, так і для установ та організацій, показано на прикладі моделі для Мезогії, Греція [11]. Дана модель заснована на взаємовпливі та врахуванні розрізнених аспектів НП, але невирішеним залишається питання формування підходів до інструментальної підтримки управлінських рішень в даній моделі.

У роботі [12] еволюційні методи розрахунку і оптимізації Парето включені в модельну систему управління водними ресурсами, на прикладі району Муррумбідж в Австралії. У роботі визначено, що представлена система здатна надавати детальну інформацію про оптимальні рішення для досягнення бажаних результатів, реагуючи на різні фактори, але не вирішеним залишається питання включення соціальних факторів та реагування на них системи управління водними ресурсами в конкретному НП.

Авторами роботи [13] інтегроване управління водними ресурсами (ІУВР) на рівні населеного пункту було розглянуто для м. Мельбурн (Австралія). Визначено, що при впровадженні ІУВР повинні бути враховані такі показники як ефективність очищення стічних вод, енергоефективність та інші критерії та фактори. Для керівної ланки управління на муніципальному рівні не визначено методи для обґрунтованого прийняття рішення з врахуванням виділених в роботі критеріїв та факторів.

У вирішенні «предметно-наслідкової» ситуації – «евтрофування – водний об'єкт – населений пункт» є багато недоліків. Серед них можна виділити: трудомісткість, нерівнозначність умов у водних екосистемах і реакції організмів, необхідність проведення додаткових досліджень з залученням провідних фахівців різних спрямувань. Особливим недоліком є відсутність адаптованого математичного апарату для об'єднання багатокритеріальної задачі з визначенням альтернативного варіанту рішення, для НП розташованого на ЕВО. У праці [14] визначено, що у європейській практиці комплексне управління водними ресурсами досягається через реалізацію практичних заходів досягнення сталого розвитку в галузі водних ресурсів. Обов'язковим елементом комплексного управління є управління системами водовідведення, а

також відповідальності усіх зацікавлених сторін: держави, місцевих громад, користувачів, операторів і НГО [14]. Невирішеною частиною даного питання залишається вибір показників та факторів, для реалізації практичних заходів та залучення фахівців зацікавлених структур для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

В роботі [15] для оцінки стійкості системи водоспоживання в межах населених пунктів запроваджено набір показників, який включає 24 спеціальних індикатора, розподілених на вісім категорій [15]. Але не всі показники включено до індикаторів. Вибір критеріїв та факторів значною мірою залежить як від об'єктивних причин (зовнішнього середовища), так і від суб'єктивних причин, тобто завдань, які ставить керівна ланка (внутрішнє середовище) [16]. Це вказує на необхідність впровадження додаткових показників складових сталого розвитку, адаптованих у відповідності до об'єкту дослідження, при формуванні критеріальної бази ієрархії формування екологічної безпеки ЕВО на рівні населеного пункту. У такій постановці в раніше опублікованих дослідженнях завдання не ставилось.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробити методичний підхід використання методу аналізу ієрархій при визначенні пріоритетних технологій водовідведення з територій населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- розробити основні елементи заявленого методичного підходу;
- перевірити узгодженість багатокритеріальної ієрархічної структури вибору технологічних заходів за вихідними даними конкретного населеного пункту, розташованого на евтрофованому водному об'єкті;
- отримати для досліджуваних басейнів водовідведення даного населеного пункту пріоритетність технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення.

4. Методичний підхід вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах

У відповідності з [9, 17], МАІ складається із трьох етапів:

- побудова ієрархічної моделі порівняння елементів (ознак) задачі;
- формування матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня ієрархії та визначення їх локальних вагових коефіцієнтів;
- визначення глобальних вагових коефіцієнтів, індексу узгодженості та вибір найкращого варіанту рішення.

Етап 1. Побудова ієрархічної моделі порівняння елементів (ознак) задачі.

При побудові ієрархічної моделі була використана концепція сталого розвитку населених пунктів (НП) – це врахування соціально, економічно і екологічно збалансованого розвитку поселень, спрямоване на створення їх економічного потенціалу, повноцінного життєвого середовища для сучасного та наступних поколінь [18, 19].

На 1-ому рівні визначена мета (рис.1): «Підвищення еколого-соціальної безпеки населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах, шляхом впровадження екологічно безпечного водовідведення» та відповідно шість ієрархічних рівнів. Досягнення цієї мети обумовлюється розв'язанням наступних загальних завдань (елементів 2-го рівня), які сформульовані як складові сталого розвитку – екологічний, соціальний та економіко-технологічний субкритерії безпеки населених пунктів: К1 – Стан поверхневих вод; К2 – Умови життєдіяльності населення; К3 – Економічні наслідки зміни якості води у водному об'єкті – джерелі водопостачання НП.

3-ій рівень – це фактори стану (ФС 1,2,3), які деталізують критерії безпеки в частині розвитку процесу евтрофування водного об'єкту як джерела питного водопостачання або в рекреаційних цілях.

На 4-ому рівні розміщено техніко-економічні показники (ТЕП 1,2,3,4), що характеризують систему водовідведення НП.

На 5-ому рівні представлені заходи (РЗ 1,2,3), спрямовані на поліпшення оціночних ознак техніко-економічних показників систем водовідведення.

На 6-ому (останньому) рівні наведений перелік альтернативних варіантів рішення – технологічні заходи екологічно безпечного водовідведення:

ТЗ1: очищення поверхневих стічних вод (ПСВ) на біоінженерних спорудах (БІС);

ТЗ2: очищення ПСВ на комунальних спорудах біологічної очистки стічних вод (БОС);

ТЗ3: будівництво двох акумулюючих ємностей на БОС для регулювання ПСВ і перехоплення залпових скидів стічних вод;

ТЗ4: очищення ПСВ з окремих територій, що мають самостійний випуск у ВО на ставках-відстійниках;

ТЗ5: застосування дощоприймачів з приямком для осаду;

ТЗ6: локальна очистка ПСВ з території автостоянок, заправних станцій, торгових центрів з подальшим скидом в зливову каналізацію НП;

ТЗ7: організаційно-технічні заходи щодо скорочення кількості винесених домішок поверхневим стоком або поліпшення санітарного стану водозбірних територій;

ТЗ8: збільшення площ каналізування територій НП;

ТЗ9: підвищення експлуатації мереж водовідведення.

Зауважимо, що кількість елементів, які безпосередньо попарно порівнюються на кожному рівні ієрархії, не перебільшує дев'яти, що відповідає рекомендаціям в [17].

Рівні ієрархії

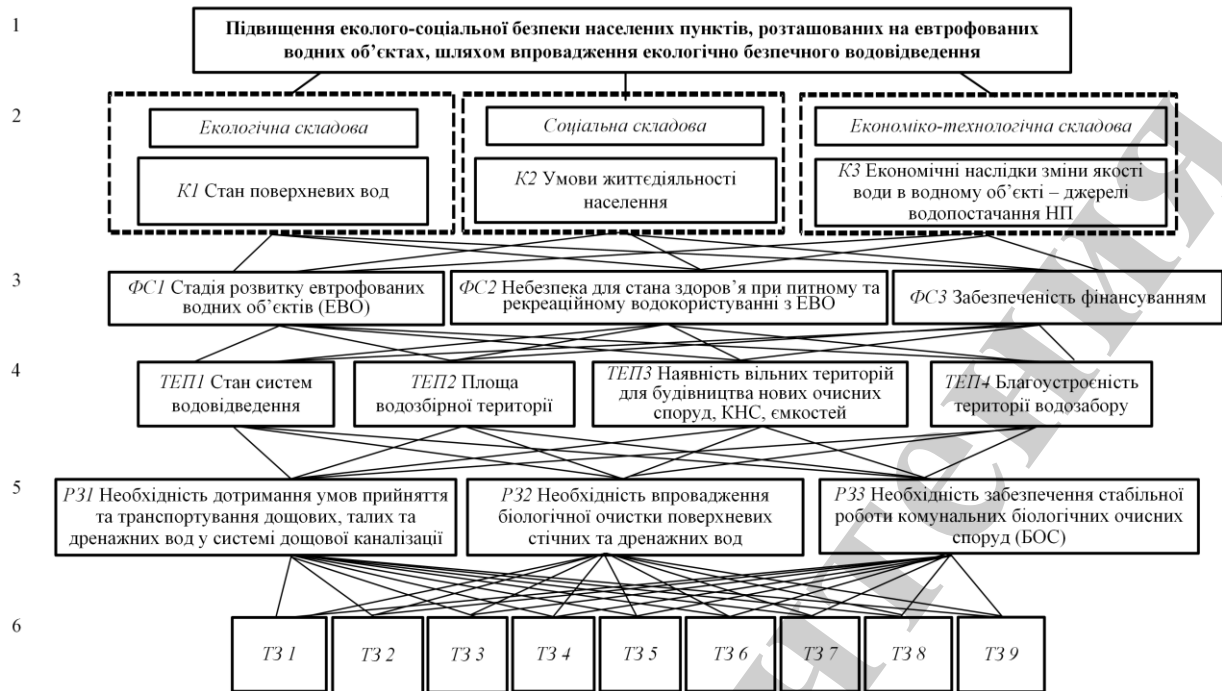


Рис. 1. Ієрархія вибору найбільш еколого-соціально безпечного ТЗ ЕБВ

Етап 2. Формування матриць попарних порівнянь елементів кожного рівня ієрархії та визначення їх локальних вагових коефіцієнтів. Для цього залучається група експертів – спеціалістів відповідного фахового спрямування муніципальних органів управління конкретного НП. Кожен експерт за своїм профілем (рис. 1), формує квадратну зворотносиметричну матрицю домінування (суджень) яка записується у вигляді:

$$A = (a_{ij})_{n,n}, \quad a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad a_{ij} = 1 \text{ при } i = j, \quad (1)$$

де $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$, де w_i, w_j – ваги відповідних елементів (критеріїв та факторів).

Попарне порівняння w_1, w_2, \dots, w_n елементів виконується з використанням суб'єктивних суджень експерта, чисельно оцінюваних від 1 до 9 за спеціальною шкалою відносної важливості [17].

При виконанні опису домінування та оцінці ступеню узгодженості суджень експертів визначається власний вектор (тобто вектор пріоритету w) і відповідно максимального власного значення λ_{\max} . Для кожної матриці розв'язується матричне рівняння відносно λ_{\max} і вектору w_i .

$$A \begin{pmatrix} w_1 \\ w_n \end{pmatrix} = \lambda_{\max} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_n \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Розв'язання цього рівняння виконується шляхом зведення матриці A у достатньо високі ступені з наступним підсумовуванням рядків і нормалізацією (діленням суми кожного рядка на суму всіх елементів матриці), у результаті чого отримується вектор пріоритетів $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$.

Етап 3. Визначення глобальних вагових коефіцієнтів, індексу узгодженості та вибір найкращого варіанту рішення. Заповнені матриці домінування (1) використовуються для визначення вагових коефіцієнтів та глобальних пріоритетів локальних критеріїв та факторів.

Глобальний пріоритет фактору розраховуємо за формулою:

$$w_{ij} = \sum_{j=1}^m u_{ij} v_{(i-1),j}, \quad (3)$$

де $v_{i-1,1}, v_{i-1,2}, \dots, v_{i-1,m}$ – вагові коефіцієнти або глобальні пріоритети локальних цілей або факторів $(i-1)$ рівня; $u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}$ – вагові коефіцієнти або локальні пріоритети j -того критерію або фактору i -рівня відносно локальних цілей.

Виконується перевірка узгодженості всієї ієрархії. Її можна оцінити, перемножуючи кожний індекс узгодженості на пріоритет відповідного критерію, підсумовуючи отримані числа та порівнюючи результат із середнім індексом узгодженості випадкових матриць того ж порядку:

$$IY = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1). \quad (4)$$

Індекс узгодженості порівнюється з середнім індексом узгодженості для випадкових матриць такого ж порядку [17], та при необхідності проводиться уточнення кількісних оцінок.

Відношення узгодженості – відношення індексу узгодженості до середньостатистичного значення індексу узгодженості при випадковому виборі коефіцієнтів матриці порівнянь [17].

$$BY = IY / Ч, \quad (5)$$

де $Ч$ – число випадкової узгодженості.

Для кожного варіанту ТЗ ЕБВ (рис. 1) розраховується кількісне значення глобального пріоритету по найбільшому значенню цього показника вибирається варіант, який рекомендується до впровадження в конкретному населеному пункті.

Таким чином, вибраний варіант ТЗ ЕБВ буде найкращий з позиції вимог сталого розвитку НП та отриманий з врахуванням інформації різного типу (статистичної, прогнозованої, даних безпосередніх вимірів, експертних оцінок).

Розроблений методичний підхід використаний для вибору ТЗ ЕБВ в м. Одеса (Україна) для 3-ох басейнів водовідведення: Північний, Південний і район Котовського. При цьому, були реалізовані всі три етапи МАІ, основою їх реалізації стала ієрархія яка наведена на рис 1. В якості експертів були залучені

спеціалісти Одеської міської ради. Результати їх роботи на різних рівнях ієрархії наведені в табл. 1–5.

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь рівня субкритеріїв еколого-соціальної безпеки (K1, K2, K3)

Кри- терії	Північний басейн				Південний басейн				Район Котовського			
	(K1)	(K2)	(K3)	W/вага	(K1)	(K2)	(K3)	W/вага	(K1)	(K2)	(K3)	W/вага
(K1)	1	2	2	0,4934	1	2	3	0,5499	1	1/2	1	0,2599
(K2)	1/2	1	2	0,3108	1/2	1	1	0,2402	2	1	2	0,4126
(K3)	1/2	1/2	1	0,1958	1/3	1	1	0,2098	1	1	1	0,3275
BY	0,04623				0,01577				0,04623			
IY	0,02681				0,009147				0,02681			
λ_{\max}	3,0				3,0				3,0			
$W_{\text{взв}}$	1				1				1			

Таблиця 2

Матриця парних порівнянь рівня субкритеріїв еколого-соціальної безпеки для підкритеріїв рівня факторів стану (K1, K2, K3 до ФС1, ФС2, ФС3)

Кри- терії	Північний басейн			Південний басейн			Район Котовського		
	K1	K2	K3	K1	K2	K3	K1	K2	K3
ФС1	0,5499	0,6738	0,1958	0,1692	0,2599	0,1634	0,4161	0,4161	0,1396
ФС2	0,2098	0,2255	0,3108	0,4434	0,4126	0,297	0,4579	0,4579	0,3325
ФС3	0,2402	0,1007	0,4934	0,03874	0,3275	0,5396	0,126	0,126	0,5278
BY	0,01577	0,0739	0,04623	0,01582	0,04623	0,00794	0,00794	0,00794	0,0462
IY	0,00914	0,04228	0,02681	0,00917	0,02681	0,00460	0,00460	0,00460	0,0268
λ_{\max}	3,0	3,01	3,0	3,01	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$W_{\text{взв}}$	0,4934	0,3108	0,1958	0,5499	0,2402	0,2098	0,2599	0,4126	0,3275

Таблиця 3

Матриця парних порівнянь підкритеріїв рівня факторів стану для рівня техніко-економічних показників (ФС1, ФС2, ФС3 до ТЕП1, ТЕП2, ТЕП3, ТЕП4)

Кри- терії	Північний басейн			Південний басейн			Район Котовського		
	ФС1	ФС2	ФС3	ФС1	ФС2	ФС3	ФС1	ФС2	ФС3
ТЕП1	0,4326	0,357	0,4316	0,3796	0,3254	0,459	0,1122	0,3788	0,3465
ТЕП2	0,1606	0,1723	0,09114	0,2167	0,1858	0,1615	0,2157	0,1968	0,2036
ТЕП3	0,1691	0,2353	0,09114	0,1665	0,2855	0,1897	0,3497	0,2428	0,2036
ТЕП4	0,2377	0,2353	0,3861	0,2372	0,2034	0,1897	0,3225	0,1815	0,2463
BY	0,07673	0,09231	0,00230	0,07973	0,07973	0,02246	0,04368	0,04368	0,02246
IY	0,06905	0,08308	0,00207	0,07176	0,07176	0,02022	0,03931	0,03931	0,02022
λ_{\max}	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$W_{\text{взв}}$	0,5191	0,2348	0,2464	0,1898	0,4053	0,4049	0,3255	0,4169	0,2576

Таблиця 4

Матриця парних порівнянь підкритеріїв рівня техніко-економічних показників для рівня заходів (ТЕП1, ТЕП2, ТЕП3, ТЕП4 до Р31, Р32, Р33)

Кри- терії	Північний басейн				Південний басейн				Район Котовського			
	ТЕП1	ТЕП2	ТЕП3	ТЕП4	ТЕП1	ТЕП2	ТЕП3	ТЕП4	ТЕП1	ТЕП2	ТЕП3	ТЕП4
Р31	0,259	0,4434	0,1488	0,1461	0,584	0,387	0,174	0,549	0,533	0,169	0,259	0,412
Р32	0,327	0,3874	0,6908	0,126	0,184	0,443	0,633	0,209	0,249	0,443	0,412	0,259
Р33	0,412	0,1692	0,1603	0,4579	0,231	0,169	0,191	0,240	0,157	0,387	0,327	0,327
ВУ	0,046	0,0158	0,0047	0,0079	0,046	0,015	0,007	0,015	0,046	0,015	0,046	0,046
ІУ	0,026	0,0091	0,0022	0,0046	0,026	0,009	0,004	0,009	0,026	0,009	0,026	0,026
λ_{\max}	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$W_{\text{ВЗВ}}$	0,4146	0,1462	0,1654	0,273	0,389	0,181	0,224	0,204	0,283	0,204	0,267	0,244

Таблиця 5

Матриця парних порівнянь підкритеріїв рівня заходів для рівня альтернатив (Р31, Р32, Р33 до Т31, Т32, Т33, Т34, Т35, Т36, Т37, Т38, Т39)

Кри- терії	Північний басейн			Південний басейн			Район Котовського		
	Р31	Р32	Р33	Р31	Р32	Р33	Р31	Р32	Р33
Т31	0,0476	0,1438	не визн.	0,12	0,1679	не визн.	0,169	0,05596	не визн.
Т32	0,07781	0,14	не визн.	0,1074	0,148	не визн.	0,1054	0,06535	не визн.
Т33	0,3024	0,2451	не визн.	0,2533	0,212	не визн.	0,1408	0,07632	0,2159
Т34	0,04742	0,04063	0,3613	0,08074	0,1151	0,3178	0,15	0,08914	0,1188
Т35	0,1385	0,1033	0,1204	0,1341	0,0671	0,2592	0,1195	0,1041	0,2297
Т36	0,06951	0,049	0,1749	0,07682	0,07015	0,1528	0,09444	0,1216	0,1025
Т37	0,1251	0,08881	0,1532	0,08295	0,07643	0,08773	0,0877	0,151	0,1175
Т38	0,07576	0,08623	0,104	0,07233	0,07735	0,08773	0,07668	0,1603	0,1078
Т39	0,1159	0,1032	0,08615	0,07233	0,06594	0,09476	0,05728	0,1763	0,1078
ВУ	0,0528	0,05968	0,049	0,04956	0,01454	0,02311	0,04912	0,03752	0,02657
ІУ	0,07656	0,08653	0,06076	0,07186	0,0210	0,02865	0,07122	0,0544	0,03507
λ_{\max}	9,0	9,0	6,0	9,0	9,0	6,0	9,0	9,0	7,0
$W_{\text{ВЗВ}}$	0,3111	0,3412	0,3477	0,4495	0,3372	0,2132	0,3733	0,3353	0,2914

На основі проведених розрахунків, у відповідності до методичного підходу МАІ, для кожного варіанту ТЗ ЕБВ розраховане кількісне значення глобального пріоритету, по найбільшому значенню цього показника вибирається варіант, який рекомендується до впровадження (рис. 2–4).

Усі обчислення проводились на ПЕОМ в середовищі МАІ (MS Excel, MPriority 1,0 тощо) із використанням відповідних команд, з точністю 0,001, що рекомендоване у [20].

Результати розрахунків для Північного басейну представлено на рис. 2. Загальна оцінка узгодженості (ІУ) ієрархії: 0,05408.

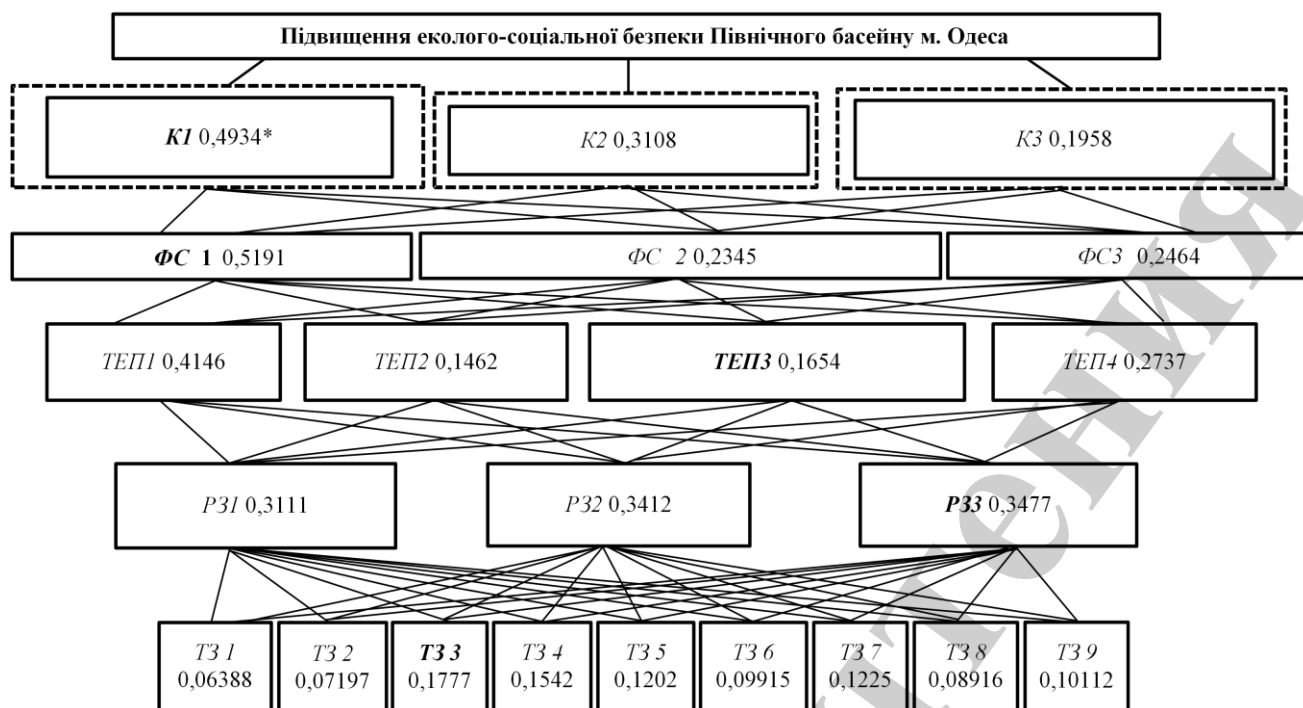


Рис. 2. Ієрархія вибору найбільш еколого-соціально безпечного ТЗ ЕБВ Північного басейну, м. Одеса: * – вагові коефіцієнти

Найбільше значення глобального пріоритету (0,1777) отримав ТЗ 3 – будівництво двох акумулюючих ємностей на БОС для регулювання ПСВ і перехоплення залпових скидів стічних вод. Акумулюючі ємності в нормальних умовах забезпечують регулювання витрат ПСВ і подачу на очищення в години найменшого припливу стічних вод. При виникненні аварії (в екстремальних умовах) – перехоплення залпових скидів стічних вод з концентрацією забруднюючих речовин, що перевищує гранично допустиму для БОС. Це стимулює надійність системи каналізації і безперервність в її роботі.

Результати розрахунків для другого басейну системи водовідведення представлено на рис. 3.

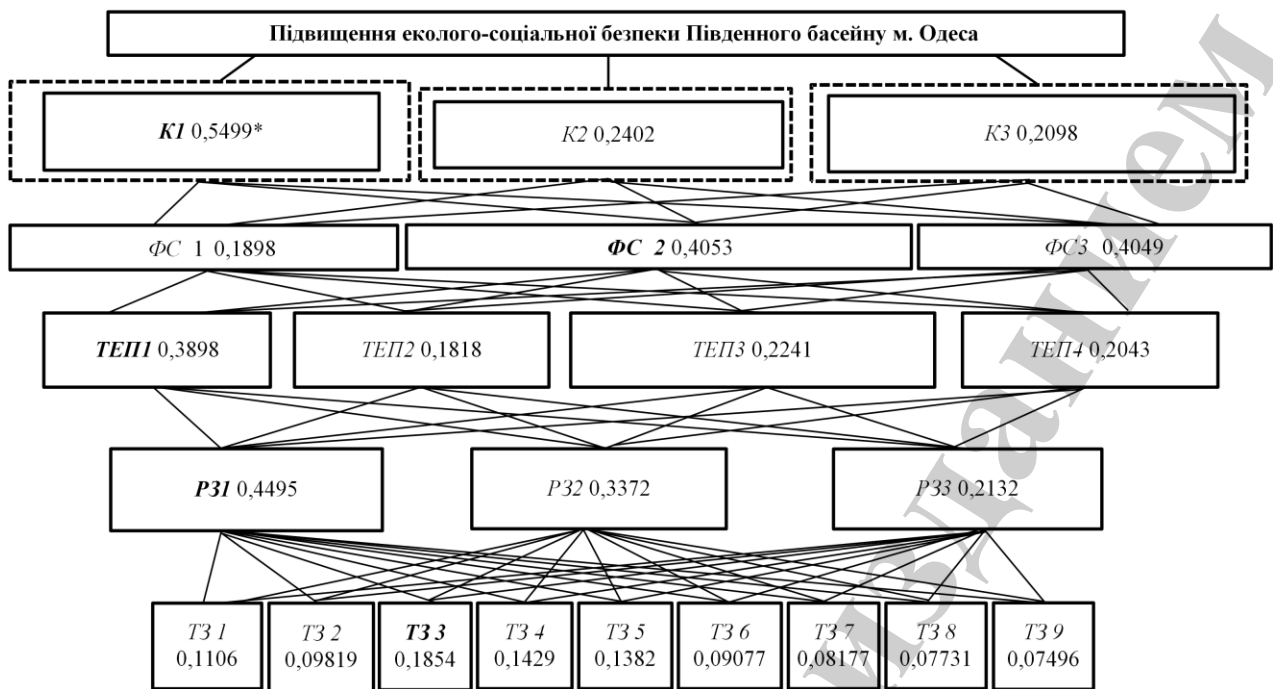


Рис. 3. Ієрархія вибору найбільш еколого-соціально безпечного ТЗ ЕБВ Південного басейну, м. Одеса: * – вагові коефіцієнти

Загальний індекс узгодженості ієрархії I_U становить 0,0324. У відповідності до чисельних значень (рис. 3) глобальних пріоритетів найбільше значення також отримав ТЗ 3 (0,1854) – будівництво двох акумулюючих ємностей на БОС для регулювання ПСВ і перехоплення залпових скидів стічних вод. Для транспортування поверхневих стічних вод на СБО необхідно створити у районі насосних станцій перекачування побутово-виробничих стічних вод акумулюючі ємності для збору і регулювання подачі поверхневих стічних вод. При цьому експерти урахували, що у теперішній час має місце значне недозавантаження насосних станцій і колекторів комунального господарства. Натурні обстеження місць розташування насосних станцій показало, що ємності для накопичення поверхневих стічних вод можуть передбачатися біля насосних станцій.

Результати розрахунків для вигляді ієрархії вибору (рис. 4).

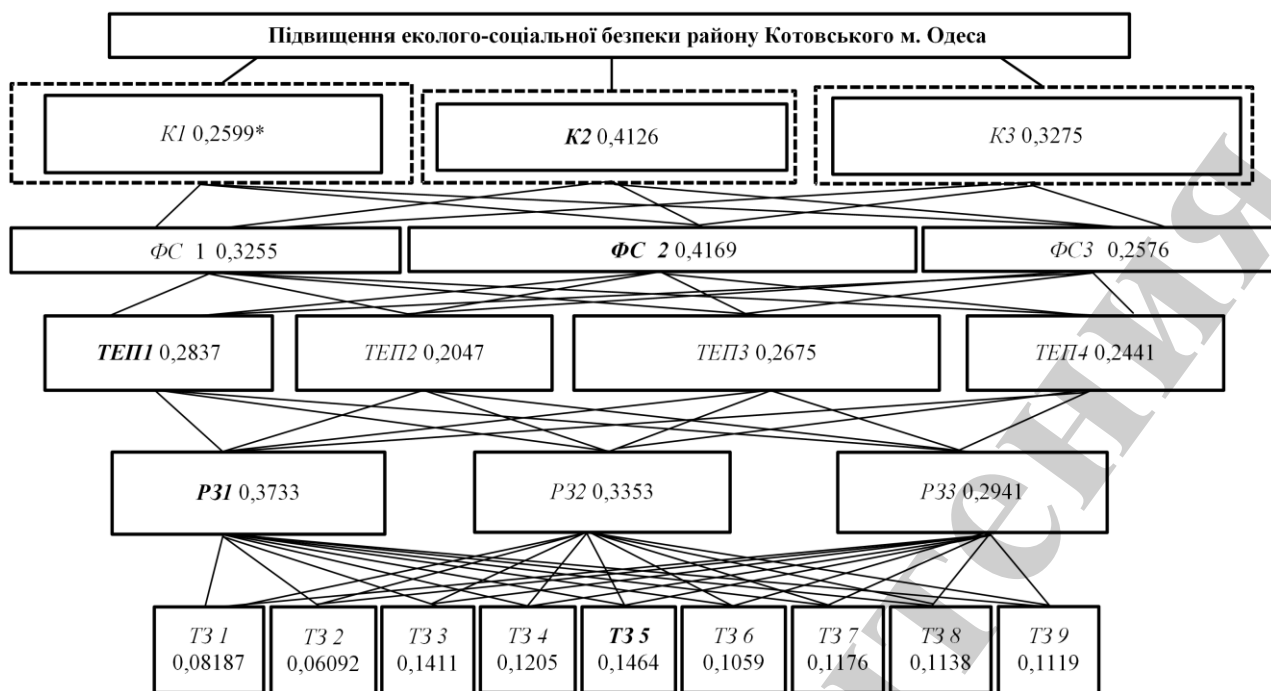


Рис. 4. Ієрархія вибору найбільш еколого-соціально безпечного ТЗ ЕБВ басейну району Котовського, м. Одеса: * – вагові коефіцієнти

Індекс узгодження (*IY*) ієрархії становить 0,03898. На підставі отриманих чисельних результатів глобальних пріоритетів (рис. 4), ТЗ 5 має найбільше значення (0,1464), це застосування дощоприймачів з приямком для осаду для перехоплення скидів поверхневих стічних вод. Даний захід забезпечить припинення стікання по рельєфу у Чорне море неочищених поверхневих стічних вод.

Крім того, у всіх трьох районах для зменшення виносу забруднюючих речовин поверхневими стічними водами та потрапляння їх у Чорне море необхідно впровадження в повному обсязі організаційно-технічних заходів та технологій, які передбачаються ДБН В.2.5-75:2013. До цих заходів віднесено:

- необхідно додаткове обладнання системи нагрітих і водовідводних каналів для поліпшення санітарного стану та впорядкованості території що забудована;
- на ділянках можливого прояву карстово-суфозійних процесів (їх забагато у м. Одеса) повинні проводитися заходи щодо зменшення інфільтрації води в ґрунт;
- відведення поверхневих вод з територій доріг, площ з твердим покриттям, покрівель будівель, необхідно передбачати закритою дощовою каналізацією;
- впровадження спеціальних конструктивних елементів (парапетів, бордюрів, кюветів, тощо) для спрямування поверхневих стічних вод у мережі дощової каналізації та інші.

5. Обговорення результатів дослідження методичного підходу до вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення

Розроблений методичний підхід дозволив спеціалістам органів місцевої влади фахового спрямування (екологічного, соціального та економіко-технологічного) прийняти участь у підготовці консолідованих рекомендацій для прийняття управлінського рішення з вибору технологічного заходу екологічно безпечного водовідведення в умовах конкретного населеного пункту.

Перевагою запропонованого багатокритеріального методичного підходу є можливість ув'язати в єдиний алгоритм виробки рішення вихідні дані, що різняться як за своїм фаховим змістом, так і за формою представлення (статистичні, прогнозні, дані безпосередніх вимірів, експертні оцінки).

Крім того, до переваг розробленого методичного підходу слід віднести те, що він базується на досить розробленому та практично відпрацьованому методі аналізу ієрархій. Зокрема, для даного методу є декілька програмних продуктів, які дозволяють ефективно здійснювати розрахунки вихідних показників. При відпрацюванні матеріалів даної статті була використана програма MPriority 1,0, яка дозволила провести розрахунки та отримати індекси узгодженості по задачі з високою точністю.

Обмеженням цього дослідження є реальні межі застосування запропонованого підходу, оскільки є можливість впливу зовнішніх факторів та умов, що може призвести до втрати стійкості. Крім того, в перспективі з появою нових технологій водовідведення ними потрібно буде доповнювати 6-й рівень ієрархії вибору (рис. 1). При цьому, буде перевищено кількість альтернатив, які необхідно буде попарно порівнювати на цьому рівні ієрархії (за рекомендаціям [17] їх кількість не повинна перебільшувати дев'яти). В даному випадку, необхідно буде приймати спеціальні заходи для збереження прийнятної узгодженості в задачі, але це призведе до ускладнення її рішення. Цей недолік можливо частково компенсувати шляхом виключення з аналізу технологій водовідведення, які втрачають актуальність за часом.

Розвиток даного дослідження доцільно здійснювати за такими напрямками:

- розробка числових багатокритеріальних ієрархій вибору технологічних заходів на основі методів аналізу систем (МАС), для збільшення стійкості та узгодженості методичного підходу;
- апробація на конкретних населених пунктах і розробка рекомендацій щодо адаптації отриманого інструментарію при обґрунтуванні удосконалення чи побудові нової системи водовідведення населеного пункту розташованого на евтрофованому водному об'єкті.

6. Висновки

1. Розроблено методичний підхід МАІ при визначенні пріоритетних технологій водовідведення з територій населених пунктів. Запропоновано і використано критерії, які сформульовані як складові сталого розвитку – екологічні, соціальні та економіко-технологічні для методу прийняття рішень при виборі технологічних заходів екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах, розташованих на евтрофованих водних об'єктах. Елементи ієрархії визна-

чено на основі стратегії управління в системі еколого-соціальної безпеки територій населених пунктів.

Використання пропонованого методу дозволяє впорядкувати, алгоритмізувати і коригувати процедуру експертного оцінювання різноманітних факторів та підвищити якість отримуваних результатів при формуванні процесу прийняття рішень.

2. Незважаючи на достатньо велику розмірність масиву елементів багатокритеріальної ієрархічної структури вибору технологічних заходів, проведено коректне попарне порівняння з досягненням заданого рівня узгодженості ($IY \leq 10\%$) для усіх трьох басейнів водовідведення населеного пункту, що досліджувався. Це свідчить про коректність рішення задачі та достовірність отриманих результатів.

3. На основі дослідження басейнів водовідведення м. Одеса (Україна), для кожного виявлено пріоритетність впровадження технологічних заходів водовідведення. Це дозволить, в залежності від наявності коштів, встановлювати черговість впровадження цих заходів.

Крім того, у всіх досліджуваних районах для зменшення виносу забруднюючих речовин поверхневими стічним водами та потрапляння їх у Чорне море рекомендовано впровадження в повному обсязі організаційно-технічних заходів та технологій, які передбачаються ДБН В.2.5–75:2013.

Література

1. Дмитрієва О. О. Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України: монографія. Київ: РВПСУ НАНУ, 2008. 459 с.
2. Якість води та управління водними ресурсами: короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації. Київ, 2014. 12 с. URL: http://www.if.gov.ua/files/uploads/Water_brochure_fin.pdf
3. Бех Ю. В., Слепцов А. І. Філософські проблеми сучасного управління складними системами: ідеї, принципи і моделі: монографія. Київ: Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2012. 405 с.
4. Дмитрієва О. О. Еколого-соціальне оцінювання стану евтрофованих водних об'єктів // *Екологія и промышленность*. 2016. № 1 (46). С. 105–110.
5. Science to Support Management of Receiving Waters in an Event-Driven Ecosystem: From Land to River to Sea / Leigh C., Burford M., Connolly R., Olley J., Saeck E., Sheldon F. et. al. // *Water*. 2013. Vol. 5, Issue 2. P. 780–797. doi: <https://doi.org/10.3390/w5020780>
6. Финогенова Т. Безобидные полифосфаты в бытовой химии. URL: <http://kocmi.ru/bezobidnye-polifosfaty-v-bytovoj-himii.html>
7. Аніщенко Л. Я. Оцінка пріоритетності варіантів здійснення планованої діяльності за критеріями екологічної безпеки // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2009. Т. 4, № 9 (40). С. 22–28. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/22309/19952>
8. Riza S. P., Murtuzayeva M. Application saaty pair comparisons method to the investments distribution in parameters of ecological sustainability // 2012 IV

International Conference "Problems of Cybernetics and Informatics" (PCI). 2012. doi: <https://doi.org/10.1109/icpci.2012.6486490>

9. Saaty T. L., Ergu D. When is a Decision-Making Method Trustworthy? Criteria for Evaluating Multi-Criteria Decision-Making Methods // International Journal of Information Technology & Decision Making. 2015. Vol. 14, Issue 06. P. 1171–1187. DOI: <https://doi.org/10.1142/s021962201550025x>

10. Decision support system for the long-term city metabolism planning problem / Morley M. S., Vitorino D., Behzadian K., Ugarelli R., Kapelan Z., Coelho S. T., Do Céu Almeida M. // Water Science and Technology: Water Supply. 2015. Vol. 16, Issue 2. P. 542–550. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2015.167>

11. Bouziotas D., Rozos E., Makropoulos C. Water and the city: exploring links between urban growth and water demand management // Journal of Hydroinformatics. 2015. Vol. 17, Issue 2. P. 176–192. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2014.053>

12. Lewis A., Randall M. Solving multi-objective water management problems using evolutionary computation // Journal of Environmental Management. 2017. Vol. 204. P. 179–188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.044>

13. Van Leeuwen C. J. Water governance and the quality of water services in the city of Melbourne // Urban Water Journal. 2015. Vol. 14, Issue 3. P. 247–254. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062x.2015.1086008>

14. Iacob V.-S. The Wastewater – A Problem of Integrated Urban Water Management // Procedia Economics and Finance. 2013. Vol. 6. P. 436–443. doi: [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(13\)00160-3](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(13)00160-3)

15. Van Leeuwen C. J., Chandy P. C. The city blueprint: experiences with the implementation of 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle // Water Science and Technology: Water Supply. 2013. Vol. 13, Issue 3. P. 769–781. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2013.062>

16. Маргасов Д. В., Сахно Е. Ю., Скитер І. С. Розробка моделі та модифікація методу аналізу ієрархій для оцінки рівня енергоефективності // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 5, № 2 (77). С. 26–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51027>

17. Саати Т. Л. Принятие решений: Метод анализа иерархий: монография. Москва: Радио и связь, 1993. 278 с. URL: <http://pqm-online.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf>

18. Міхалева М., Столярчук П. Значення екологічної оцінки водних ресурсів та порівняльний аналіз водного законодавства України та Європейського Союзу // Вимірювальна техніка та метрологія. 2005. № 65. С. 172–178. URL: <http://ena.lp.edu.ua/bitstream/ntb/23207/1/32-Mikhalieva-172-178.pdf>

19. Герасимчук З. В. Стимулювання сталого розвитку регіону: теорія, методологія, практика: монографія. Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2011. 516 с.

20. Дмитрієва О. О., Колдоба І. В., Телюра Н. О. Спосіб водовідведення у водогосподарських системах населених пунктів, розташованих на евтрофованих водних об'єктах: Пат. № 127470 UA. № u201710629; заявл. 02.11.2017; опубл. 10.08.2018, Бюл. № 15. URL: <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=249878>